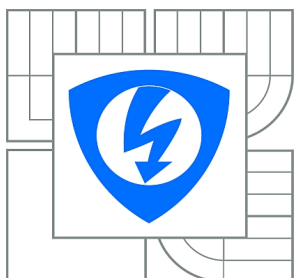


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
TECHNOLOGY

INOVACE MĚŘICÍHO PRACOVISTĚ PRO ANALÝZU FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ

INNOVATION OF MEASUREMENT EQUIPMENT USED FOR ANALYZING OF PHOTOVOLTAICK
CELLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

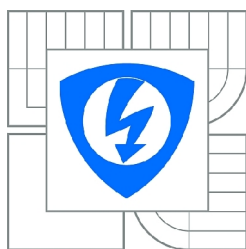
JAKUB OTÉPKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ VANĚK, Ph.D.

BRNO 2013



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Jakub Otépka
Ročník: 3

ID: 98575
Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Inovace měřicího pracoviště pro analýzu fotovoltaických článků

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principy činnosti solárních článků a s metodami detekce defektů ovlivňujících jejich kvalitu. Seznamte se s možnostmi metod využívajících luminiscenci materiálu. Inovujte zařízení pro detekci fotoluminiscenčního záření z fotovoltaického článku pomocí otáčkoměru. Hodnoty získané navrženým otáčkoměrem porovnejte s hodnotami získanými jinými metodami.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 6.6.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku c.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem otáčkoměru, který se využívá pro měření a zobrazování otáček mechanické clony měřicího pracoviště pro analýzu defektů solárních článků pomocí metody fotoluminiscence.

Tato práce je rozdělena do tří částí. V první části je popsán princip solárních článků, princip luminiscenčního záření a jeho typy a jsou rozebrány defekty solárních článků. Ve druhé části je rozebrána teorie otáčkoměrů, jejich principy a způsoby načítání impulzů. Ve třetí části je potom rozebrán návrh a konstrukce zvoleného typu otáčkoměru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Solární článek, P-N přechod, křemík, luminiscence, fotoluminiscence, defekty, kotoučová clona, otáčkoměr, impulz, dps, otáčky.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a tachometer which is used to measure and display of mechanical aperture speed of a measuring equipment for the defect analysis of solar cells using the photoluminescence method.

This work is divided into three parts. The first section describes the principle of solar cells, the principle of luminescence radiation and its types. Next the defects of solar cells are analyzed. The second part discusses the theory of tachometers, the principles and methods of loading pulses. The third part is then analyzed the design and construction of the selected type tachometer.

KEY WORDS

Solar cell, P-N junction, silicon, luminescence, photoluminescence, defects, disc screen, tachometr, impulse, PCB, RPM.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OTÉPKA, J. *Inovace měřicího pracoviště pro analýzu fotovoltaiických článků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svůj bakalářský projekt na téma „*Inovace měřicího pracoviště pro analýzu fotovoltaických článků*“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářského projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného bakalářského projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujícího autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 6. června 2013

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářského projektu panu doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při zpracování projektu. Dále potom děkuji Ing. Levkovi a panu Pavlu Severovi za účinnou pomoc.

V Brně dne 13. prosince 2012

.....
podpis autora

OBSAH

ÚVOD.....	8
PRVNÍ ČÁST.....	9
1 SOLÁRNÍ ČLÁNEK.....	9
1.1 Křemík pro solární články.....	10
1.1.1 Monokrystalický křemíkový článek.....	10
1.1.2 Polykrystalický křemíkový článek.....	11
1.1.3 Amorfni křemíkový článek.....	11
1.2 Princip solárních článků.....	12
1.3 Parametry solárních článků.....	13
1.3.1 Základní parametry solárních článků.....	13
1.3.2 Parametry solárních článků ovlivňující jejich účinnost.....	13
1.3.3 Parametry solárních článků ovlivňující jejich životnost.....	13
2 FOTOLUMINISCENCE.....	14
2.1 Spontánní emise.....	14
2.2 Luminiscence.....	15
2.3 Rozdělení luminiscence.....	16
2.4 Luminiscence křemíku.....	16
2.5 Využití fotoluminiscence.....	16
3 DEFEKTY SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ.....	17
3.1 Defekty solárních článků.....	17
3.1.1 Materiálové defekty.....	17
3.1.2 Procesní defekty.....	18
DRUHÁ ČÁST.....	19
4 OTÁČKOMĚRY.....	19
4.1 Typy otáčkoměrů.....	20
4.1.1 Kontaktní otáčkoměry.....	20
4.1.2 Bezkontaktní otáčkoměry.....	22
4.2 Snímání impulzů.....	25
4.2.1 Impulz.....	25
4.2.2 Metody snímání impulzů.....	25

TŘETÍ ČÁST.....	27
5 NÁVRH OTÁČKOMĚRU.....	27
5.1 Analýza požadavků.....	27
5.2 Volba součástek.....	29
5.2.1 Seznam a cena součástek.....	31
5.3 Návrh zapojení v programu Multisim.....	32
5.4 Návrh DPS v programu Ultiboard.....	33
5.5 Návrh programu.....	34
5.6 Výroba DPS.....	35
5.6.1 Přenesení motivu na DPS.....	35
5.6.2 Vyvolání DPS.....	36
5.6.3 Leptání DPS.....	36
5.6.4 Závěrečná úprava DPS.....	36
5.6.5 Osazení DPS.....	37
6 MĚŘENÍ OTÁČEK JINÝMI METODAMI.....	38
6.1 Naměřené hodnoty ot/min v závislosti na odebíraném proudu v A	38
6.2 Naměřené hodnoty ot/min v závislosti na naměřené frekvenci..	39
6.3 Porovnání naměřených hodnot.....	39
7 ZÁVĚR.....	40
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	41
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	45
SEZNAM TABULEK.....	45
SEZNAM ZKRATEK.....	46
SEZNAM PŘÍLOH.....	46

ÚVOD

Solární (fotovoltaické) články jsou v dnešní době jedním z několika možných zdrojů alternativní elektrické energie, které využívají tzv. fotovoltaického jevu pro přeměnu slunečního (elektromagnetického) záření na energii elektrickou. Je několik druhů těchto článků, které se liší výrobním postupem, cenou a především svojí účinností.

Články první generace založené na zpracování krystalického křemíku, články druhé generace založené na naprašování velmi tenkých vrstev amorfního křemíku na různé druhy podložek, jako např. plasty nebo kovy, a články třetí generace, u nichž je použito vícevrstvých struktur, fotocitlivých barviv, polymerních vrstev nebo nanotechnologií. [19] V dnešní době existují běžně dostupné články s účinností 5-20% a články nejnověji vyvinuté firmou Sharp s účinností až 43,5%. [9]

Tato práce se zabývá pouze články křemíkovými.

Základním materiálem těchto článků je vysoce čistý křemík s příměsí dalších prvků jako např. gallium nebo arsen. Kvalita a tím pádem i účinnost článků je tvořena především zvoleným technologickým postupem výroby křemíku, při kterém může dojít k několika různým defektům. Tyto defekty nepříznivě ovlivňují elektrické vlastnosti celého solárního článku a snižují tak jeho účinnost. Proto bylo vyvinuto několik metod měření těchto defektů - jako například metoda elektroluminiscence, metoda luminiscence mikroplazmy nebo metoda fotoluminiscence. Tato metoda funguje na principu vybuzení luminiscenčního záření, které je vyvoláno budícím UV zářením. Vybuzené luminiscenční záření je potom snímáno CCD kamerou a zobrazováno na PC. Výsledný snímek je monochromatický, kde světlá místa značí článek bez defektů a černá místa značí defekt článku. K měření fotoluminiscence slouží pracoviště, které se skládá z PC, CCD kamery, budícího UV záření, otočné mechanické clony a napájecího zdroje. Abychom získali snímek luminiscenčního záření článku, je potřeba od sebe oddělit budící a vybuzené záření. K tomuto účelu slouží otočná mechanická clona, která střídavě spíná budící UV záření a propouští vybuzené luminiscenční záření do CCD kamery. Vzhledem k tomu, že vybuzená luminiscence má velice krátkou dobu života pod 300 μ s, je důležitá rychlost otáčení mechanické clony. S rostoucími otáčkami clony je možné sledovat více vybuzeného luminiscenčního záření a tím získat i kvalitnější snímky s defekty měřených článků. Abychom mohli tyto otáčky jednoduše sledovat, je vhodné použít zařízení pro detekci, měření a následné zobrazení otáček na displeji, který se nazývá otáčkoměr.

Tato práce je rozdělena do tří částí. V první části je popsán princip solárních článků, princip luminiscenčního záření a jeho typy, dále pak jsou rozebrány defekty solárních článků. Ve druhé části je rozebrána teorie otáčkoměrů, jejich principy a způsoby načítání impulzů. Ve třetí části je rozebrán návrh a konstrukce zvoleného typu otáčkoměru.

PRVNÍ ČÁST

1 SOLÁRNÍ ČLÁNEK

Křemíkový solární článek je tenká polovodičová destička s příměsí dalších prvků, která využívá fotovoltaiického jevu k přeměně světelného záření na elektrickou energii.

Skládá se ze dvou hlavních částí: vrstvy P a vrstvy N, které dohromady tvoří P-N přechod. Povrch solárního článku je chráněn tenkou skleněnou antireflexní vrstvou, která umožňuje větší průnik světelného záření do polovodiče. Antireflexní vrstva bývá nejčastěji tvořena oxidem titanu, díky kterému má solární článek svůj tmavomodrý vzhled. [10] Na vrchní straně článku je hliníková mřížka, která slouží pro sběr energie a funguje jako záporný pól článku. Na spodní straně se nachází hliníková destička, která tvoří pól kladný. Jeden solární článek je schopen generovat napětí kolem 0,5 V, přitom velice záleží na intenzitě osvětlení a úhlu dopadajícího světla. [Obr. 1]

Z takovýchto solárních článků se potom skládá celý solární panel, u něhož je několik desítek těchto článků zapojených sérioparalelně (podle velikosti panelu). Výkon celého panelu se potom udává v jednotkách Wp (Watt peak – špičková hodnota). [11] [Obr. 2] Výrobci většinou udávají, že po 12 let užívání se účinnost panelu sníží na 90 % a za 25 let na 80 %.



Obr. 1: Solární článek, rozměry 104x104 mm [1]



Obr. 2: Solární panel složený ze 72 solárních článků, rozměry 1580x808x35 mm [2]

1.1 Křemík pro solární články

Křemík (Si) je polokovový prvek s diamantovou strukturou, který se využívá především pro výrobu polovodičových součástek. Pro účely elektrotechnického průmyslu je nutná vysoká čistota křemíku kolem 99,9999%, protože i nepatrné množství znečištění výrazně ovlivňuje kvalitu výsledného solárního článku. [12] [Obr. 3]



Obr. 3: Křemík [3]

Pro použití křemíku na solární články jej můžeme rozdělit na tři kategorie:

1.1.2 Monokrystalický křemíkový článek

Výroba tohoto typu článku je velice složitá a energeticky náročná. Účinnost článků z monokrystalického křemíku je běžně 15-20%. [Obr. 4]

K výrobě monokrystalu křemíku se používá tzv. Czochralského metoda, při níž dochází k pomalému tažení zárodku monokrystalu kapalné taveniny velmi čistého křemíku, než se dosáhne výsledného ingotu. Ten se potom krájí na tenké destičky o rozměrech 250 – 350 μm a dále upravuje leštěním a odstraňováním nečistot. [8]



Obr. 4: Monokrystalický křemík [4]

1.1.3 Polykrystalický křemíkový článek

Výroba tohoto typu křemíku je jednoduchá a energeticky nenáročná. Účinnost těchto článků je 10-14%. [Obr. 5]

Postup výroby spočívá v odlévání čistého křemíku do čtvercových nebo obdélníkových forem. Výsledné ingoty se opět nařezou na tenké plátky. [8]



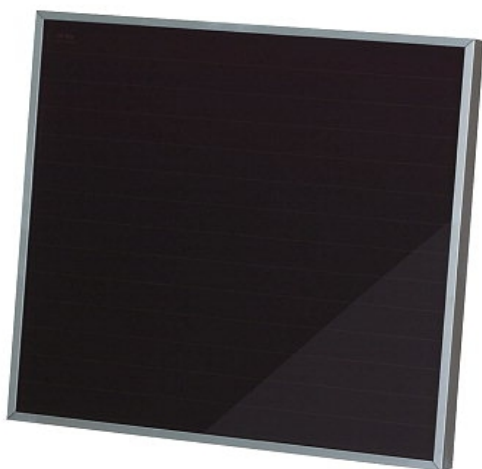
Obr. 5: Polykrystalický křemík [5]

1.1.4 Amorfni křemíkový článek

Solární články vyrobené tímto způsobem jsou jednodušší na výrobu než předchozí dva typy, ale dosahují také nižší účinnosti mezi 5-9%. [13] [Obr. 6, 7]

Výhoda těchto článků spočívá v tom, že dovedou využít širší spektrum světelného záření a fungují i za horších světelných podmínek.

Výroba článků na bázi amorfniho křemíku spočívá v napařování (naprašování) několika tenkých vrstev s příměsí germania a dalších prvků na plastový, kovový nebo nerezový substrát. [8]



Obr. 6: Amorfni solární článek [6]



Obr. 7: Amorfni solární článek na fólii [7]

1.2 Princip solárních článků

Základem solárního článku je křemíková destička (substrát) o průměru 250 – 350 μm , která je dotována příměsmi gallia, india, hliníku nebo bóru, čímž vznikne vrstva typu P.

Na tuto vrstvu je potom difúzí vytvořena vrstva N, která je dotována fosforem nebo arsenem. Toto spojení dvou vrstev tvoří dohromady tzv. P-N přechod.

Na vrchní vrstvě N je napařená tenká vrstva nejčastěji oxidu titanu (TiO_2), která slouží jako antireflexní vrstva. Díky této vrstvě dochází k většímu průniku světelného záření do vrstvy N a zvýšení generace volných elektronů.

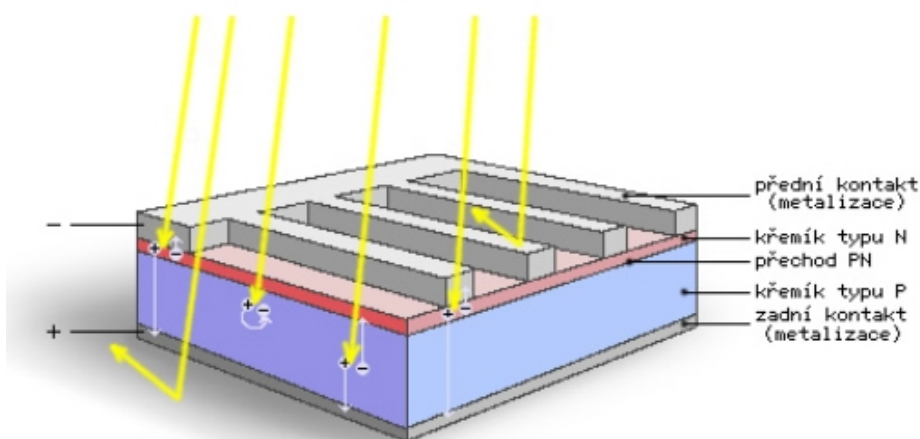
Při dopadu světelného záření (fotonů) na vrchní vrstvu typu N dochází k uvolňování volných elektronů, které se tu hromadí a vytvářejí elektrický potenciál neboli napětí přibližně 0,5 V.

Na obrázku 8 je vidět řez solárním článkem a také dopadající světelné záření různých vlnových délek, které se může od povrchu článku odrazit, absorbovat nebo projít skrz. Fotovoltaického jevu se může účastnit pouze absorbované světelné záření.

Na vrchní a spodní straně jsou potom sítotiskem vytvořeny kontakty (sběrnice) pro odběr elektrického proudu. Po připojení článku k zátěži přechází volné elektrony z vrstvy N do vrstvy P a vytváří tak vedení stejnosměrného elektrického proudu. Množství vygenerované elektrické energie závisí na velikosti energie fotonů světelného záření. Pro křemíkové články potřebuje foton energii minimálně 1,12 eV, aby se mohl účastnit fotovoltaického jevu. To odpovídá vlnové délce přibližně 1100 nm. [8]

Pro zvýšení vyrobené energie se používají tzv. koncentrátory, které pomocí soustavy čoček a zrcadel soustřeďují více světelného záření do solárního článku. Toto vylepšení bývá často spojeno s další úpravou, kdy se přidá elektromechanické zařízení pro natáčení celých solárních panelů, aby byla dodržena kolmost úhlu solárních článků vůči směru světelného záření, kdy mají články největší výtěžnost vyrobené energie. [16]

Nevyužitá energie světelného spektra, která se v článku přemění na teplo se dá využít pomocí termofotovoltaických článků, které toto ztrátové teplo převádějí na elektrickou energii a tím zvyšují celkovou výrobu elektrické energie oproti běžným křemíkovým článkům. [18]



Obr. 8: Struktura solárního článku [8]

1.3 Parametry solárních článků

1.3.1 Základní parametry solárních článků

- **Napětí naprázdno U_0 [V]** - napětí, při kterém je proud rovný nule ($I = 0$ A).
- **Proud nakrátko I_k [A]** - proud, při kterém je napětí rovno nule ($U = 0$ V).
- **Maximální výkon P_m [W]** - maximální výkon dosažitelný na solárním článku.
- **Účinnost η [%]** - určuje schopnost přeměny absorbované sluneční energie na energii elektrickou. Účinnost je závislá především na materiálu, ze kterého je článek vyroben. Účinnost dnešních článků se pohybuje mezi 5 – 43,5%.
- **Sériový odpor R_s [Ω] a paralelní odpor R_p [Ω]** - Sériový odpor R_s představuje přechodové odpory na jednotlivých kontaktech vlivem odporu přírodních vodičů. Paralelní odpor R_p představuje parazitní jev, který je způsoben defekty krystalické mřížky a svodovým proudem kolem okrajů článku. [8]

1.3.2 Parametry solárních článků ovlivňující jejich účinnost

- **Teplota v [$^{\circ}\text{C}$]** - se zvyšující se teplotou v okolí článku klesá napětí naprázdno (U_0) a tím klesá i maximální výkon článku (P_m) i jeho účinnost (η).
- **Intenzita osvětlení E [lx]** - má vliv na všechny parametry solárního článku. Se zvyšující se intenzitou osvětlení roste proud nakrátko (I_k), napětí naprázdno (U_0), maximální výkon (P_m) a účinnost (η).
- **Hodnoty sériového R_s [Ω] a paralelního odporu R_{sh} [Ω]** - mají vliv na účinnost (η) a také na spektrální citlivost solárních článků. [8]

1.3.3 Parametry solárních článků ovlivňující jejich životnost

- **Teplota v [$^{\circ}\text{C}$]** - působení teploty vyvolá změny rozměrů materiálu, což má za následek mechanické pnutí materiálu.
- **Vlhkost** - vlivem vlhkosti dochází k rychlejší oxidaci článku.
- **Intenzita elektrického pole E** - elektrony dopadající na povrch izolantu způsobují jeho erozi a to znamená, že se zmenšuje tloušťka izolační vrstvy.
- **Působení prachu** - může vyvolat znehodnocení mechanického charakteru nebo způsobit vznik nebezpečných elektrostatických výbojů.
- **Mechanické namáhání** - může dojít k poškození během manipulace s článkem.
- **Sluneční záření** - vlivem IR části slunečního spektra dochází k ohřívání článku a ve výsledku může dojít k popraskání a křehnutí.

2 FOTOLUMINISCENCE

Fotoluminiscence je jev, při kterém dochází ke spontánní emisi záření materiálu vyvolanou budícím elektromagnetickým zářením (světlem).

2.1 Spontánní emise

Spontánní emise je kvantový jev, při kterém dochází k vyzáření fotonu z excitované kvantové soustavy za současného přechodu kvantové soustavy do základního stavu.

Princip tohoto jevu spočívá v přechodu atomu (kvantové soustavy) ze základního stavu do stavu excitovaného dodáním energie (např. světelným zářením, elektrickým výbojem či chemickou reakcí), kdy elektron přechází ze stávající energetické hladiny na vyšší energetickou hladinu. Atom je ovšem v excitovaném stavu nestabilní a snaží se zaujmout stav s co nejnižší energií. Na uvolněné místo v původní energetické hladině tedy přechází elektron z vyšší energetické hladiny, jehož přechod je charakterizován jedním ze dvou dějů: [8]

- Při přechodu elektronu nedojde k uvolnění fotonu a tím pádem nenastane zářivá rekombinace a uvolněná energie se absorbuje v krystalové mřížce ve formě tepla.
- Při přechodu elektronu současně dojde k uvolnění fotonu a tím dojde k zářivému přechodu nebo-li ke spontánní emisi. Energie uvolněného fotonu odpovídá rozdílu energetických hladin, mezi nimiž k přechodu dochází. Vlastnosti luminiscenčního záření jako směr, polarizace či fáze jsou zcela náhodné. Doba, po kterou elektron setrvává na vyšší energetické hladině, než dojde ke spontánní emisi, je řádově několik nanosekund. Doba vlastního přechodu elektronu do původní energetické hladiny je kolem 0,1 - 1 fs. Emitovaný foton má potom výslednou energii rovnou (1):

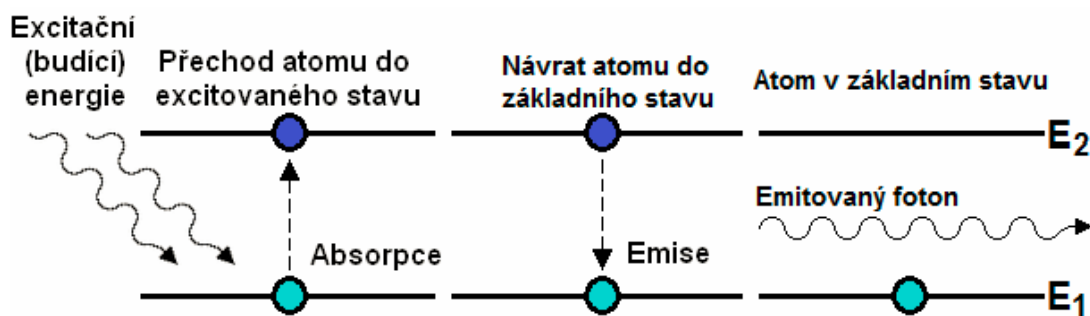
$$E_f = h \times f = E_2 - E_1 \quad [eV] \quad (1)$$

$E_2 - E_1$rozdíln hladin

E_fvýsledná energie emitovaného fotonu [eV]

hPlanckova konstanta = $4,136 \cdot 10^{-15}$ [eV·s]

ffrekvence záření [Hz]



Obr. 9: Princip spontánní emise [8]

2.2 Luminiscence

Luminiscence je spontánní emise (samovolné záření) pevných, kapalných i plyných látek, která vzniká transformací jiné primární energie, většinou světelného záření o nižší vlnové délce. [21] Pro vznik luminiscence je určitým způsobem zapotřebí látce dodat přebytečnou energii oproti té, kterou si tato látka recipročně vyměňuje se svým okolím pomocí rovnovážného elektromagnetického záření. Tato nadbytečná energie se v látce přemění na světelné luminiscenční záření a je nazývána excitační neboli budící energií. Luminiscence je na rozdíl od tepelného záření nezávislá na teplotě, to znamená, že ji vyzařují i studené objekty, a proto se jí také říká studené světlo. Musí být ale dosaženo vyššího počtu elektronů ve vybuzených stavech než rovnovážné hodnoty stavu při dané teplotě. Toho lze docílit účinkem ultrafialového a rentgenového záření nebo působením elektrického pole. Existuje několik druhů luminiscence, které se dělí podle toho, jakým způsobem se energie dodá: [8] [24]

- **Fotoluminiscence** - buzena působením vnějšího světelného záření, jehož vlnová délka (λ_{ex}) je kratší nežli luminiscenční emisní vlnová délka (λ_{em}). Tato nerovnost $\lambda_{ex} \leq \lambda_{em}$ je nazývána Stokesovým zákonem.
- **Elektroluminiscence** - vzniká v důsledku přiložení elektrického pole a následného průchodu elektrického proudu látkou.
- **Luminiscence mikroplazmy** - vzniká v místech strukturálních defektů solárních článků po přiložení závěrného napětí blízkého se průraznému napětí.
- **Chemoluminiscence** - vzniká působením určitých typů exotermních chemických reakcí v látce. Uvolněné reakční teplo se vyzáří ve formě světelného záření.
- **Bioluminiscence** - vzniká působením určitých typů fyziologických biochemických reakcí v živých organismech (např. světlušky, medúzy, některé druhy ryb, atd.).
- **Katodoluminiscence** - vzniká při dopadu vysokoenergetického elektronového svazku na stínítko pokryté luminoforem (např. vakuová obrazovka CRT, obrazovka se systémem vychylování elektronového paprsku v osciloskopech).
- **Mechanoluminiscence** - vzniká při mechanické deformaci pevné látky, při které se v jistých případech uvolňuje světelné záření ve formě krátkého záblesku.
- **Termoluminiscence** - vzniká ochlazením látky na nízkou teplotu, následným ozářením krátkovlnným elektromagnetickým zářením a nakonec pozvolným zvyšováním jeho teploty, čímž dochází k emisi světelného záření.
- **Radioluminiscence** - vzniká působením ionizujícího záření na látku.
- **Rentgenoluminiscence** - vzniká působením rentgenového záření na látku.
- **Sonoluminiscence** - vzniká působením akustických kmitů na látku.
- **Triboluminiscence** - vzniká třením nebo působením tlaku na pevnou látku.

2.3 Rozdělení luminiscence

Kinetické rozdělení luminiscenčních dějů se řídí tím, za jak dlouho dojde k emisi světelného záření po budícím impulzu. Podle této doby objevení luminiscenčního záření se luminiscence dělí na: [8] [21]

- **Fluorescence** - nastane tehdy, jestliže vznikne emise záření z excitovaného elektronového stavu jedním či více spontánními energetickými přechody. Fluorescence je pozorovatelná během buzení a po jeho vypnutí ihned mizí. Doba dohasínání je řádově 10^{-8} s.
- **Fosforescence** - nastane tehdy, jestliže se při emisi záření z excitovaného elektronového stavu uplatní metastabilní hladina. Fosforescence je určitou dobu pozorovatelná i po vypnutí zdroje buzení.
- **Zpožděná fluorescence** - jedná se o zářivý přechod z téhož singletního stavu jako při fluorescenci, ale s delší dobou dohasínání danou časem, po který je molekula v metastabilním tripletovém stavu.

2.4 Luminiscence křemíku

Křemíkové solární články vyzařují luminiscenční záření ve třech případech: [8]

- **Fotoluminiscenční děj** - buzení vnějším světelným zdrojem.
- **Elektroluminiscenční děj** - připojením solárního článku na zdroj napětí.
- **Luminiscence mikrop plazmy** - připojením článku na zdroj napětí v závěrném směru.

2.5 Využití fotoluminiscence

Využití jevu fotoluminiscence má kromě elektroniky využití i v chemii, potravinářství nebo mineralogii. Konkrétně například pro ověření pravosti bankovek, pro zvýraznění čísel a symbolů na hodinkách ve tmě nebo na obrazovkách osciloskopů.

3 DEFEKTY SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ

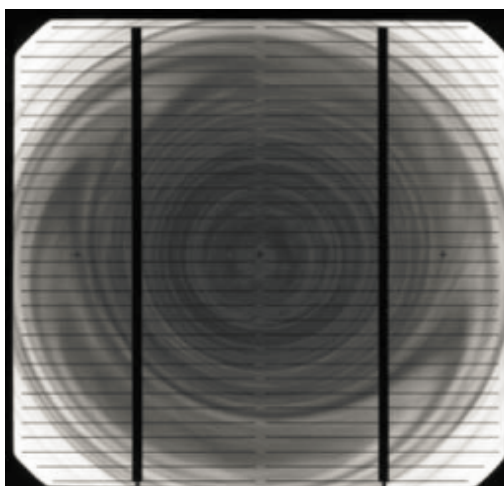
3.1 Defekty solárních článků

V křemíkových solárních článcích mohou vznikat defekty, které zhoršují kvalitu a tím i účinnost celého článku. Tyto defekty mohou být bodové, plošné, objemové nebo čárové a nacházejí se v různých hloubkách materiálu. Dělíme je podle způsobu vzniku na materiálové defekty a procesní defekty.

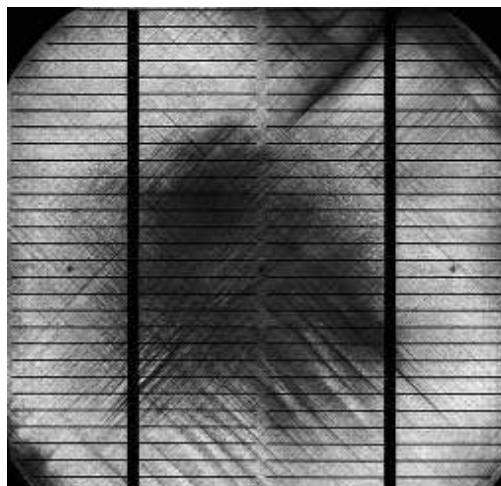
3.1.1 Materiálové defekty

Materiálové defekty vznikají přímo při výrobě křemíku a polovodičových struktur průnikem nečistot a mají charakter poruchy krystalické mřížky. Typy materiálových defektů: [8]

- **Virový defekt** - je zapříčiněn injekcí příměsi kyslíku do ingotu během procesu otáčení a tunutí taveniny u Czochralského metody výroby křemíku. Defekt má tvar soustředných kružnic vycházejících ze středu článku. [Obr. 10]
- **Defekt způsobený vnitřním pnutím materiálu** - je zapříčiněn rychlým růstem ingotu křemíku, jenž má za následek porušení struktury křemíku. Vzniká při tažení ingotu v případě, kdy je špatně řízen proces výroby monokrystalického křemíku. [Obr. 11]



Obr. 10: Virový defekt [8]



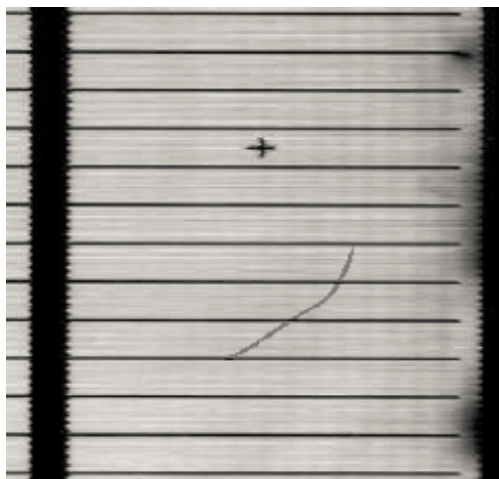
Obr. 11: Defekt způsobený pnutím materiálu [8]

3.1.2 Procesní defekty

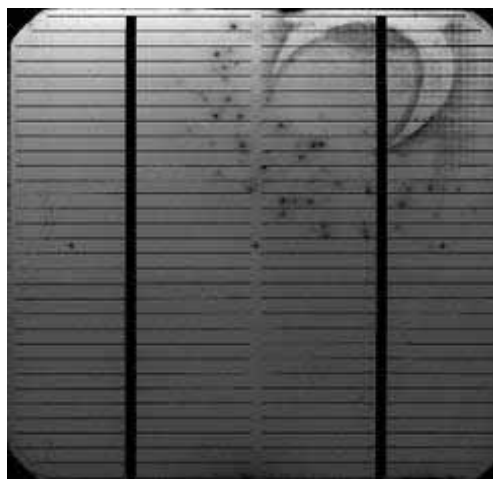
Procesní defekty jsou charakteristické tím, že vznikají v průběhu technologického procesu výroby solárního článku a jsou také způsobeny mechanickým poškozením v průběhu instalace a manipulace se solárním článkem. Ve většině případů dochází k poškození lokálního P – N přechodu. [8]

Typy procesních defektů:

- **Defekt způsobený mechanickým poškozením** - je způsoben špatnou a nešetrnou manipulací se solárním článkem. Projevuje se v podobě poškrábání, okrajového odštípnutí nebo neobroušených hran. [Obr. 12]
- **Defekt způsobený nehomogenitou difúzní vrstvy** - je způsoben vniknutím nečistot do plynného fosforu, který je při výrobě křemíku dotován do vrstvičky polovodiče typu N. [Obr. 13]



Obr. 12: Mechanické poškození [8]



Obr. 13: Nehomogenita difúzní vrstvy [8]

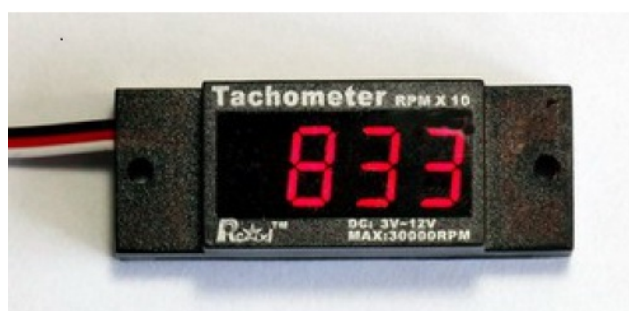
DRUHÁ ČÁST

4 OTÁČKOMĚRY

Otáčkoměr je elektronické zařízení, které dokáže měřit mechanické otáčky jiných zařízení pomocí senzorů, nejčastěji kruhového pohybu, např.: měření otáček hřídelí u automobilů, vrtulí, lodních šroubů nebo jiných točivých strojů. Otáčky je potřeba znát pro výpočet účinnosti motorů, a to z důvodu sledování bezpečnosti točivých strojů nebo jiných pomocných výpočtů. První otáčkoměry byly mechanické, založené na principu odstředivé síly, další byly už elektronické. Ukazatel otáčkoměru může uvádět počet otáček na analogovém [Obr. 14] nebo digitálním displeji [Obr. 15]. [33]



Obr. 14: Analogový otáčkoměr [27]



Obr. 15: Digitální otáčkoměr [28]

4.1 Typy otáčkoměrů

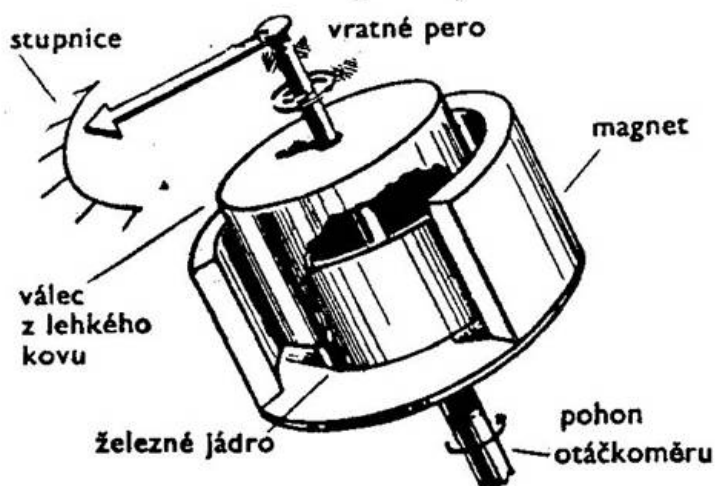
Otáčkoměry můžeme rozdělit podle kontaktu s měřeným objektem na kontaktní nebo bezkontaktní. [33]

4.1.1 Kontaktní otáčkoměry

Kontaktní měření otáček vyžaduje styk s měřeným objektem. Pro tyto měření existují ruční přístroje. Tyto přístroje snímají rotační pohyb například řemenice, hřídele či kola v jejich ose (často s využitím soustružnického vpichu) nebo obvodovou rychlost po přiložení snímacího kolečka k obvodu rotující části stroje. Pro snímání rotačního pohybu jsou tyto přístroje vybaveny různými výměnnými nástavci s gumovým povrchem, přizpůsobenými pro jednotlivá měření. [33]

Magnetické otáčkoměry

Jednoduché magnetické otáčkoměry se používají pro přímé měření otáček nebo pro měření v blízkosti otáčející se součásti. Používají se u automobilů jako tachometry a také pro kontrolní měření otáček. Základním prvkem otáčkoměru je otočný magnet, hřídelí spojený s rotující součástí. Magnet je obklopen kovovým hrníčkem, který je hřídelí spojen s ukazující ručičkou. Magnet a hrníček nejsou nijak spojeny. Rotací magnetu se v hrníčku indukuje elektromotorické napětí, a vzniká tak elektrický proud, který vytváří vlastní magnetické pole. To se snaží ustálit s magnetickým polem magnetu. Hrníček se začne natáčet ve smyslu otáčení magnetu, přičemž jeho úplnému otáčení brání spirálová pružina. Když je indukovaná magnetická síla v rovnováze se silou spirálové pružiny, ručička otáčkoměru se ustálí [Obr. 16]. [33]



Obr. 16: Princip magnetického otáčkoměru [29]

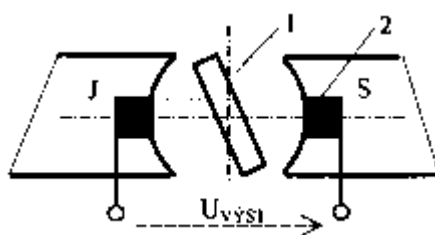
Kapacitní otáčkoměry

Kapacitní otáčkoměry pracují na principu změny kapacity způsobenou vzdáleností nebo změnou plochy elektrod. Nevýhodou je, že mohou měřit jen malé natočení.

Tachodynamo (stejnosměrný generátor)

V poli permanentního magnetu se nachází kotva dynama spojená s měřenou rotující částí. Při otáčení se indukuje elektromotorické napětí. Toto napětí je přímo lineárně úměrné úhlové rychlosti otáčení. Vnitřní odpor zatížené kotvy způsobuje úbytek elektromotorického napětí, proto je skutečné svorkové napětí menší. Z toho důvodu bývá zatěžovací odpor předepsán z výroby. Výsledné napětí dynama a tedy i otáčky za minutu lze měřit klasickým voltmetrem.

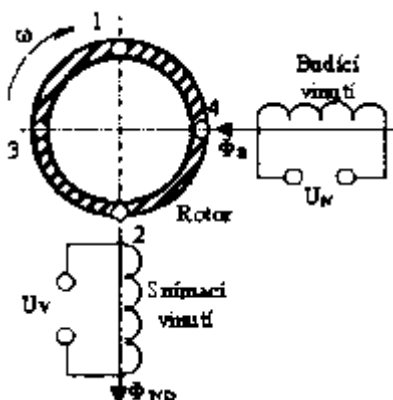
Nevýhodou tachodynamu je použití klasického sběracího komutátorového a kartáčkového ústrojí. [Obr. 17] [33]



Obr. 17: Tachodynamo [30]

Tachoalternátor (střídavý generátor)

Rotor je tvořen permanentním magnetem, spojeným s rotační součástí. Při rotaci tento magnet indukuje do statorové cívky elektromotorické střídavé napětí přímo úměrné rychlosti otáčení. Tachoalternátor tedy získává střídavé napětí z cívek, které se nepohybují. Toto napětí se měří klasickým voltmetrem. Změnou rychlosti otáčení měníme napětí a také kmitočet. Proto je možno místo voltmetru k zobrazení otáček za minutu použít měřič kmitočtu. Toho se využívá pro přesnější měření otáček, protože kmitočet se při změně magnetického pole, teploty, tedy odporu obvodu, nemění, kdežto napětí ano. [Obr. 18] [33]



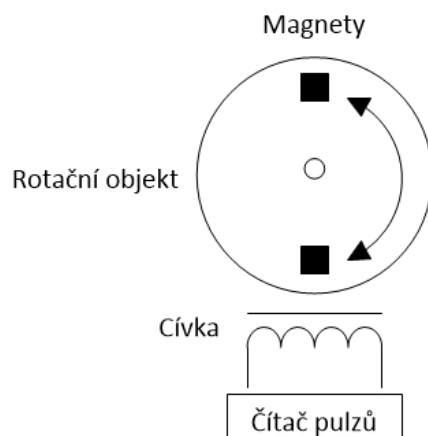
Obr. 18: Tachoalternátor [31]

4.1.2 Bezkontaktní otáčkoměry

Bezkontaktní měření otáček nepotřebuje styk s měřeným objektem a pohyb se snímá například magneticky nebo světelným paprskem. Nedá se však říci, že je vždy výhodnější nebo lepší, ale je ve většině případů jednodušší a praktičtější. Obě metody se tedy vzájemně nenahrazují, ale doplňují. Vhodným řešením pro univerzální použití jsou proto kombinované měřiče otáček.

Indukční magnetický otáčkoměr

Malý permanentní magnet je umístěn na rotujícím objektu v blízkosti pevné cívky. Ten při rotaci indukuje napěťové impulzy úměrně rychlosti otáčení. [Obr. 19] Tyto impulzy lze měřit například čítačem. Ten zaznamenává impulzy na vstupu, vyhodnocení je pak na výstupu čítače v podobě nějakého kódu (binárního, hexadecimálního). Dále je možné využít tento princip tak, že se magnet vloží přímo do vinutí a tento celek se umístí proti nějaké nerovnosti na hřídeli (drážka, klín, šroub, apod.). Změnou magnetického odporu se mění tok na permanentním magnetu a na vinutí se opět indukuje napěťové impulzy. [33]



Obr. 19: Indukční magnetický otáčkoměr

Hallův snímač

Principem Hallova snímače je destička, na kterou v jednom směru působí kolmo magnetické pole B , ve druhém směru jí protéká proud I a ve třetím směru potom naměříme Hallovo napětí U_H . [Obr. 20] Toto napětí se potom vypočítá podle vzorce:

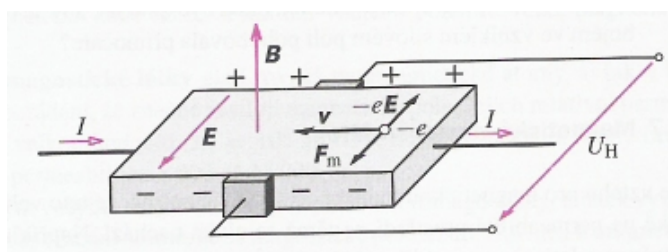
$$U_H = I \times B \times k \quad [V] \quad (2)$$

Iprotékající proud

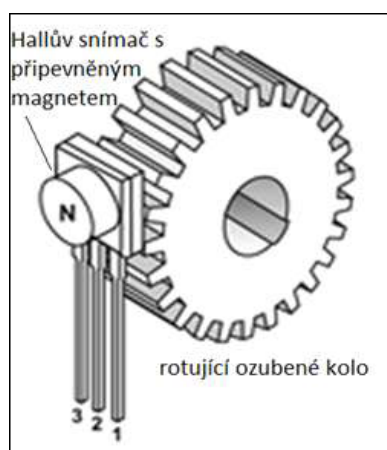
Bvelikost magnetické indukce

kkonstanta, která zahrnuje typ materiálu a tloušťku destičky

Tento snímač je vhodný například pro měření otáčení ozubeného kola, k němuž je zezadu připevněn permanentní magnet, který vytváří kolmé konstantní magnetické pole. Toto magnetické pole se mění s velikostí vzduchové mezery. [Obr. 21]



Obr. 20: Hallův jev [32]



Obr. 21: Využití Hallova snímače [33]

Fototachometry

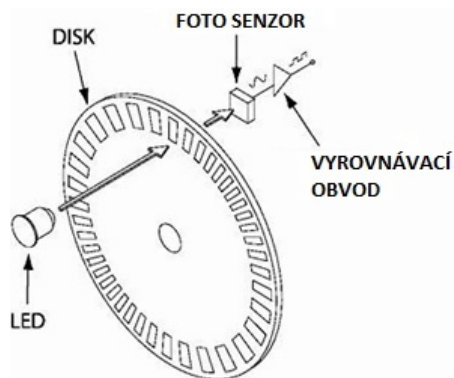
Přístroj vysílá trvalý, nepřerušovaný světelný paprsek, nejčastěji laserový. Ten dopadá na speciální odraznou plochu, nalepenou na rotující součásti. Poté se paprsek odrazí zpět do přístroje a je pak sejmuto optikou otáčkoměru – nejčastěji fotodiodou nebo fototranzistorem. Po převedení na elektrické impulsy jsou tyto čítány přesným, krystalem řízeným čítačem, vyhodnotí se jejich frekvence a výsledek je zobrazen na digitálním displeji. [Obr. 22]



Obr. 22: Laserový otáčkoměr [34]

Rotační snímač (Enkodér)

Rotační snímač je elektromechanický převodník, který převádí světelný signál skrze rotační pohyb na sekvenční elektrické digitální impulsy. Základní částí je optický disk s průhlednými okénky spojený s osou snímače. Před diskem je světelný zdroj, nejčastěji LED dioda, která vysílá světelný paprsek. Ten prochází jen průhlednými okénky disku. Na druhé straně disku je světelný snímač, který procházející impulsy světla přijímá. Tyto impulsy se převádějí na elektrické, a ty se dále mohou zpracovávat různými řídicími přístroji. Vygenerované impulsy je možné používat ke kontrole rotačních, případně i lineárních pohybů. Hlavní využití těchto snímačů je v obráběcích strojích, při zpracování materiálu, v robotech, elektromotorech a u měřících a řídicích systémů se zpětnou vazbou. [Obr. 23]



Obr. 23: Enkodér [35]

4.2 Snímání impulzů

4.2.1 Impulz

Elektrický impulz je náhlá změna napětí nebo proudu vyvolaná vnějšími vlivy. V případě měření otáček je impulz generován snímači (magnetickými nebo optickými), které sledují měřený objekt. U magnetických snímačů je impulz vyvolán změnou magnetického pole. U optických snímačů je impulz vyvolán dopadem světelného záření (nejčastěji z LED diody) na fototranzistor nebo fotodiodu.

4.2.2 Metody snímání impulzů

V dnešní době se velmi často užívají impulzní metody měření otáček, kde jsou impulzy nejčastěji generovány magneticky (analogový signál) nebo opticky (digitální signál). Tyto impulzy se pak zpracovávají různými vyhodnocovacími obvody. Jednoduchým způsobem zpracování elektrických impulzů může být například využití analogového voltmetru, kde se využívá setrvačnosti ručičky - upravená stupnice nám ukazuje přibližný počet otáček. Nevýhodou je tedy nepřesnost naměřených hodnot a nemožnost nastavení/vyhodnocení dalších parametrů.

Další možností je načítání impulzů pomocí čítače, který dokáže počítat nebo odpočítat, kolikrát proběhla nějaká událost nebo proces. Principem funkce je nárůst nebo pokles hodnoty o jednotku vzhledem k předchozí hodnotě při příchodu čítacího impulsu:

$$N_{(t)} = N_{(t-1)} + 1 \text{ nebo } N_{(t)} = N_{(t-1)} - 1 \quad [-] \quad (3)$$

N.....hodnota čítače [-]

t.....aktuální stav po příchodu čítacího impulsu [-]

t-1.....časový okamžik před příchodem čítacího impulsu [-]

Čítače můžeme rozdělit na softwarové nebo elektronické. U softwarového řešení můžeme jako čítač označit proměnnou, nejčastěji celočíselného (nebo jiného ordinálního) typu v počítačovém programu. U elektronického řešení se většinou čítač realizuje pomocí elektronických logických obvodů, především pomocí klopných obvodů. V takovém případě mívá vstup, na který se přivede časový vstup označovaný C / CLK , u obousměrných čítačů UP / DN , vstup nulování hodnoty - $RESET$, nastavení čítače na přednastavenou hodnotu - SET , uvolnění čítání - $ENABLE / GATE$, případně další.

Na výstupu čítače potom dostaneme binární hodnotu nebo hodnotu v podobě BCD kódu, kde se vypisuje číselná hodnota daného výstupu, často spolu s dalšími informacemi jako např. přetečení. Pro zobrazení na segmentovém displeji se potom použije převodník kódu podle daného výstupu čítače: BIN/SEG nebo BCD/SEG. [43]

Podle konstrukce nebo podle použitého reduktoru můžeme čítače rozdělit na binární (dvojkové), oktanové (osmičkové), desítkové (dekadické) a hexadecimální (šestnáctkové).

U složitějších metod zpracování se využívá procesorové techniky, a to buď počítače s vhodným softwarem nebo jednodušších mikroprocesorů s řídicím programem, kde se analogový signál převádí na digitální pomocí A/D převodníku, aby se s ním mohlo dále pracovat. Rozdíl mezi počítačovým a mikroprocesorovým řešením je především v

použitém softwaru a rychlosti zpracování instrukce – frekvenci procesoru. Počítače jsou rychlejší a mají mnohem větší paměť pro řídicí program. Nevýhodou je potom složitá konstrukce, vysoký odběr a cena. Mikroprocesory mají zase naopak málo paměti, jsou pomalejší, ale jsou podstatně levnější, konstrukčně jednodušší a levnější. Pro měření a vyhodnocení naměřených pulzů však plně postačují. U obou řešení je potom omezení ve výšce načítaného pulzu na maximální hodnotu 5V, danou vnitřní architekturou procesorů, nebo v případě počítače architekturou USB sběrnice. Při načítání signálu s výškou pulzu nad 5V by se dalo využít napěťových děličů nebo převodníků na nižší napětí. Při použití procesorové techniky je taky možné zobrazení naměřených hodnot pomocí LCD displeje, což u čítače možné není.

TŘETÍ ČÁST

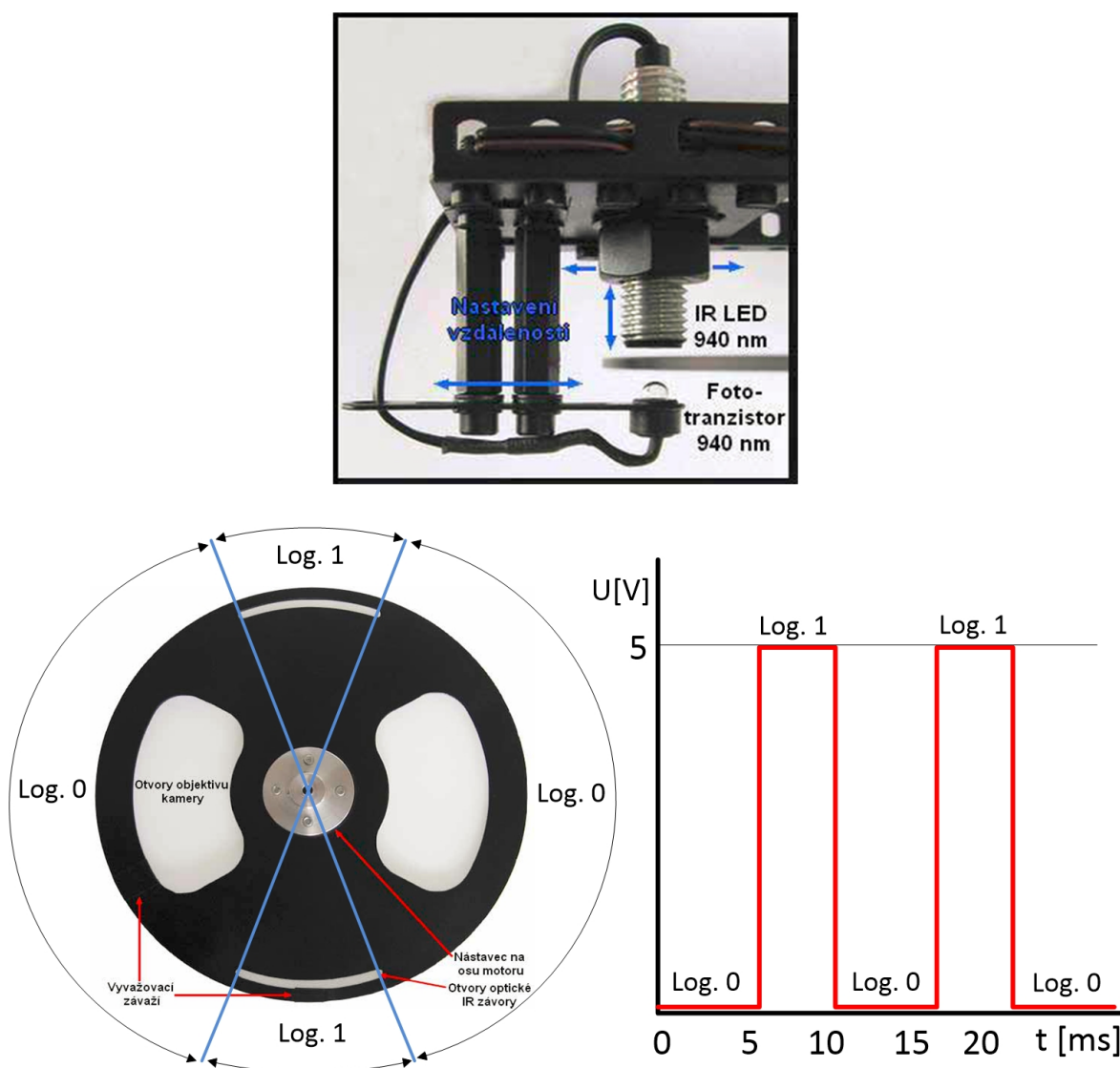
5 NÁVRH OTÁČKOMĚRU

V rámci inovace měřicího pracoviště pro analýzu defektů fotovoltaických článků bylo dohodnuto navrzení, zkonstruování a následné otestování elektronického otáčkoměru pro měření otáček mechanické clony z důvodu usnadnění práce na měřicím pracovišti. V první části bude vysvětlen pojem otáčkoměr, dále budou popsány různé typy otáčkoměrů, způsoby načítání impulzů, analýza požadavků a volba součástek, návrh samotného otáčkoměru, návrh DPS, návrh řídicího programu, výroba DPS, oživení, testování a porovnání naměřených hodnot s jinými způsoby počítání otáček.

5.1 Analýza požadavků

Prvním krokem při návrhu otáčkoměru byla analýza a zjištění požadavků. Zařízení by mělo být jednoduché konstrukce s možností zobrazení naměřených hodnot se základní možností nastavení parametrů během měření a následného zobrazení na displeji. Napájení by mělo vycházet ze 24V DC zdroje. Dále bylo potřeba definovat, na jakém principu snímání impulzů bude otáčkoměr pracovat a jakým způsobem se budou naměřené hodnoty zpracovávat a dále zobrazovat. Nejjednodušším způsobem bylo využití konstrukce měřicího pracoviště pro analýzu defektů solárních článků, která využívá principu střídavého spínání budicího UV záření pomocí IR LED diody a fototranzistoru, které dohromady fungují jako optická závora (snímač). Tento snímač dokáže generovat pulzy za pomoci rotující mechanické clony, která má v sobě vytvořené otvory (Clona č. 1 – 2 otvory, Clona č. 2 – 12 otvorů) a je umístěna mezi diodou a fototranzistorem. V případě, kdy je mechanická clona natočená tak, že brání průchodu světelného záření z LED diody do fototranzistoru, není v něm generován žádný proud - signál, který se na výstupu fototranzistoru chová jako logická 0. Jakmile dojde k natočení mechanické clony jejím otvorem mezi diodu a fototranzistor, dojde k vygenerování elektrického proudu – signálu, který sepne fototranzistor a na jeho výstupu se chová jako logická 1. Úroveň logické 1 je dána napájecím napětím, které fototranzistor spíná - to je v tomto případě maximálně 5V. Tato úroveň se může ještě měnit pomocí potenciometru, který funguje jako regulátor proudu pro budicí UV záření, a to v rozsahu od 1,4V do 5V. V tomto rozsahu je tedy signál chápán jako logická 1. Aby takovýto proměnný signál mohl procesor správně vyhodnotit, je potřeba využít jeho vnitřního komparátoru. To je typ obvodu, který má dva vstupy a jeden výstup. V případě, že se na vstupu objeví dva stejné signály se stejnou napěťovou úrovní, komparátor sepne a na výstupu se objeví logická 1, přičemž její úroveň závisí na napájecím napětí komparátoru (stav sepnuto). V jakémkoliv jiném případě je na výstupu logická 0 (stav vypnuto). V případě otáčkoměru bylo potřeba porovnat vstupní impulzní signál s vnitřní napěťovou referencí nastavenou pomocí rezistorového pole na jednom vstupu komparátoru. Na druhý vstup byl potom přiveden načítaný impulzní signál z optického snímače. Napěťová reference byla vzhledem k načítanému signálu nastavena na 1,4V. V případě, že se na druhém vstupu komparátoru objeví signál s úrovní 1,4V nebo vyšší, komparátor ji porovná s vnitřní referencí a na výstupu se objeví logická 1. V případě, že bude na druhém vstupu signál s úrovní menší než 1,4V, komparátor jej zase porovná s vnitřní referencí a na výstupu se objeví logická 0. S časovou změnou těchto

hodnot potom dostáváme informaci o frekvenci otáčení mechanické clony, kterou počítáme pomocí mikroprocesoru. Získanou hodnotu musíme ještě vydělit počtem otvorů použité clony, abychom získali hodnotu jedné otáčky podle daného počtu pulzů - např. u clony se dvěma otvory během jedné otáčky získáme na výstupu fototranzistoru 2 impulzy. Tato frekvence pulzů se potom pomocí softwarového programu přepočítá na počet otáček za minutu.



Obr. 24: Princip získání signálu pomocí LED a fototranzistoru

Dalším krokem bylo vybrat způsob vyhodnocení signálu a jeho zobrazení. Jednou možností bylo použití výše zmiňovaného čítače a zobrazování na segmentovém displeji. Vzhledem k tomu, že byl dán požadavek na určité možnosti nastavení v průběhu měření, jako např. intenzita jasu zobrazovacího displeje nebo možnost nastavení počtu otvorů podle zvolené clony, musel by se tento požadavek vyřešit dalšími obvodovými prvky.

Jednodušší metodou bylo zvolení vyhodnocení pomocí mikroprocesoru a zobrazování na LCD displeji. Vnitřním programem procesoru se potom vyřeší nastavení požadovaných parametrů.

Posledním krokem bylo vybrat vhodný zdroj pro napájení mikroprocesoru. Většina procesorů je napájena stejnosměrným napětím o hodnotě 3,3V nebo 5V podle jeho vnitřní architektury. Vzhledem k tomu, že jsem vybral typ procesoru napájeného 5V, připadal v úvahu spínaný nebo lineární regulátor napětí ze 24V na 5V. Spínaný regulátor má větší účinnost převodu napětí a méně hřeje, ale je dražší.

Lineární regulátor má zase malou účinnost převodu, více hřeje, je však levnější. Pro účely navrhovaného otáčkoměru jsem zvolil měnič lineární, který pro tyto účely bohatě postačí.

5.2 Volba součástek

Základní součástkou tohoto otáčkoměru je mikroprocesor typu PIC od společnosti Microchip. Tento procesor byl zvolen na základě definovaných požadavků. Prvním požadavkem byla schopnost načítat pulzy, a to pomocí vnitřního komparátoru. Pro tento účel postačí jeden vstupní pin procesoru. Tento vstup je vhodné ochránit proti přepětí od 5V do 24V, aby nedošlo ke zničení vnitřních obvodů procesoru. Horní hranice 24V byla zvolena na základě maximálního předpokládaného vstupního napětí, kterému může na vstupu dojít. Pro tento účel byla vybrána kombinace zapojení zenerovy diody na 5V a výkonového odporu 2W na základě výpočtů:

$$\text{Odpor rezistoru: } R = \frac{U_{vst} - U_d}{I_{max}} = \frac{24 - 5}{98} = 193,87 \, \Omega \quad (4)$$

R.....odpor rezistoru [Ω]

U_{vst}.....maximální vstupní napětí [V]

U_d.....napětí na diodě [V]

I_{max}.....maximální závěrný proud zenerovou diodou [mA]

$$\text{Výkon rezistoru: } P = U \times I = 19 \times 98 = 1,86 \, W \quad (5)$$

P.....výkon rezistoru [W]

U.....napětí na rezistoru [V]

I.....proud rezistorem [mA]

Vzhledem k tomu, že odpor s vypočítanými hodnotami se nevyrábí, byl vybrán nejbližší vyšší s odporem 220 Ω a výkonovým zatížením 2W.

Druhým krokem bylo upravení taktovací frekvence procesoru pomocí externího oscilátoru. Mikroprocesor ke své činnosti a správné funkci potřebuje nějaký zdroj hodinových (taktovacích) impulzů o určité frekvenci, které využívají vnitřní obvody mikroprocesoru a od něhož je pak odvozena délka trvání strojového cyklu, a tedy i doba vykonávání instrukcí. K taktování mikroprocesoru můžeme využít vnitřního obvodu RC oscilátoru, který je zabudován přímo v čipu nebo použít externí obvod oscilátoru pomocí krystalu.

Interní RC oscilátor nemá příliš přesný kmitočet a při načítání a výpočtu naměřených hodnot bychom dostali nepřesné údaje. Z tohoto důvodu se proto využívá připojení externího krystalu, který má nastavený přesný kmitočet. Na základě doporučení byl zvolen krystal velikosti 8Mhz, který se připojuje na dva vstupní piny procesoru. Pro lepší stabilizaci napětí se opět využívá paralelní kombinace dvou kondenzátorů C3 a C4 spojených se zemí. Čím vyšší kmitočet, tím přesnější měření. Je ovšem nutné ověřit, zda je vybraný krystal podporován procesorem.

Třetím požadavkem bylo napájení procesoru. Ten je napájen pomocí dvou vstupních pinů (VDD a VSS) lineárním regulátorem, který převádí DC napětí 24V na 5V DC. Ten má na svém vstupu a výstupu připojeny ještě dva paralelně zapojené filtrační kondenzátory C1 a C2 pro lepší stabilizaci napětí zvolené podle datasheetu. Tento vstup je také chráněn proti přepětí a zkratu paralelně zapojeným transilem a proti nadproudu ochráněn pojistkou do 0,5A. Regulátor také musí splňovat požadavky na proudové zatížení. Největší odběr celého zařízení má LCD displej s maximálním podsvícením LED a to přibližně 20mA. Další část potom tvoří samotný procesor, který odebírá proud při maximální zátěži 15mA. Proudový odběr ostatních součástí byl zanedbatelný. Na základě toho byl s dostatečnou rezervou zvolen regulátor s maximálním výstupním proudem 150mA.

Čtvrtým požadavkem bylo zobrazování na LCD displeji. Pro tento účel byl vybrán LCD displej 16x2. Tento displej může komunikovat pomocí osmibitové nebo čtyřbitové sběrnice se dvěma řídicími piny. U osmibitové komunikace se přenášejí data z procesoru najednou, jsou rychlejší, ale potřebují 8 komunikačních portů procesoru, kdežto u čtyřbitové komunikace jsou data posílána nadvakrát, proces přenosu dat je pomalejší, ale využívá jen 4 komunikační porty. Vzhledem k tomu, že vybraný procesor má k dispozici 32 pinů, je možné použít s dostatečnou rezervou osmibitovou komunikaci. Pro tento návrh otáčkoměru však byla zvolena a odzkoušena čtyřbitová komunikace. Celkem je tedy pro ovládání LCD využito 6 komunikačních portů: DB4-DB7, E a RS. RW port slouží k přepínání čtení nebo zápisu na displej a v případě otáčkoměru je spojen se zemí a trvale nastaven do režimu zápisu, protože žádná data z displeje načítat nepotřebujeme. Navíc je u tohoto LCD možné nastavovat kontrast displeje pomocí odporového trimru zvoleného podle datasheetu.

Dále se potom přidala 2 tlačítka pro řízení a nastavování četnosti zobrazovaných informací, možnosti výběru typu clony a zapnutí či vypnutí podsvícení LED displeje.

Nakonec bylo potřeba připojit resetovací pin MCLR pomocí RC členu mezi napájecí napětí a zem podle datasheetu.

Všechny ostatní nevyužité piny byly uzemněny, aby nedocházelo k indukovaní rušivého signálu na vstupu procesoru.

5.2.1 Seznam a cena součástek

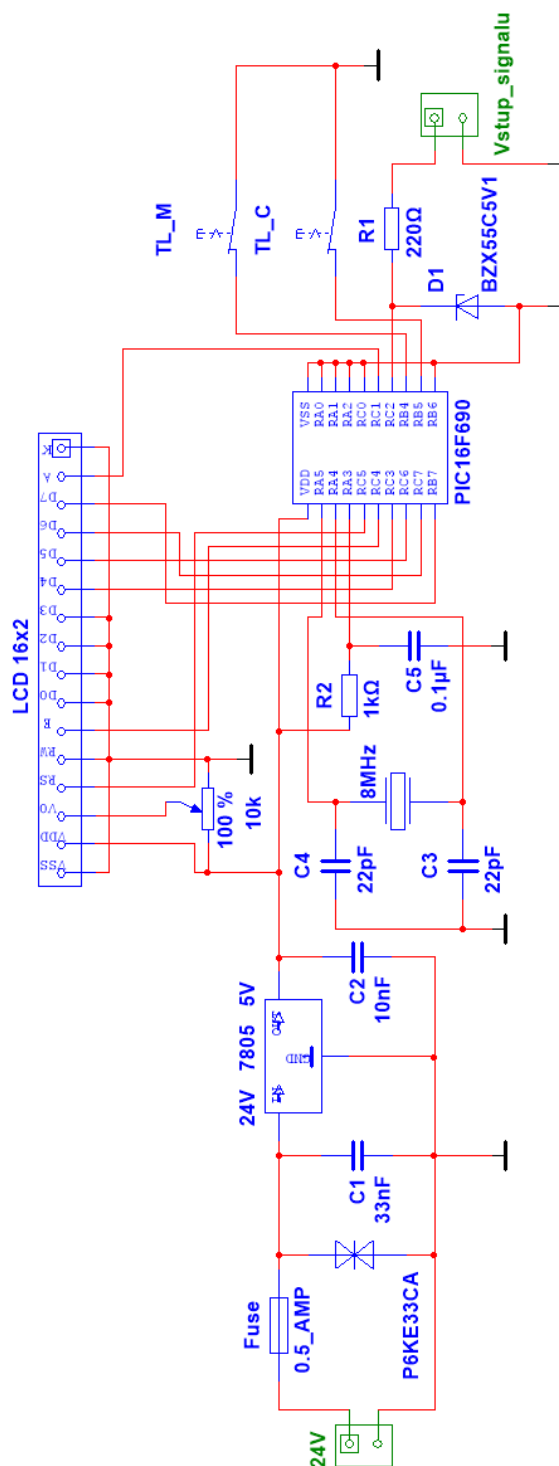
Číslo	Název součástky	Počet kusů	Cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
1	Mikroprocesor PIC 16F690	1	58,00	58,00
2	Lineární regulátor ST 78L05	1	3,00	3,00
3	Proudová pojistka FST0 0.5A	1	4,90	4,90
4	Transil P6KE33CA	1	4,00	4,00
5	Keramický kondenzátor 33nF	1	2,00	2,00
6	Keramický kondenzátor 10nF	1	2,00	2,00
7	Keramický kondenzátor 22nF	2	2,00	4,00
8	Keramický kondenzátor 100nF	1	2,50	2,50
9	Krystal HC49US 8Mhz	1	10,00	10,00
10	Rezistor 1 kΩ	1	2,00	2,00
11	Výkonový rezistor 2W, 220 Ω	1	3,00	3,00
12	Trimr 10k CA9MVK010	1	5,50	5,50
13	Zenerova dioda BZX55C5V1 CDIL	1	0,50	0,50
14	Tlačítka na DPS P-DT6SW	2	12,00	24,00
15	Oboustranný kolík XINYA S1G20 2,54mm	1	4,40	4,40
16	LCD 1602A 16x2	1	70,00	70,00
17	Fotocuprexit 50x100x1,5mm jednovrstvý	1	22,80	22,80
18	Plastová krabice	1	43,00	43,00
19	Napájecí konektor DCI SCP-2009B	1	9,30	9,30
			Celková cena	274,90

Tabulka 1: Seznam součástek

Vzhledem ke snadnější manipulaci byly použity součástky pro vývodovou montáž THT, ačkoliv jsou dražší. Pro snížení ceny by se potom daly použít součástky pro povrchovou montáž SMD.

5.3 Návrh zapojení v programu Multisim

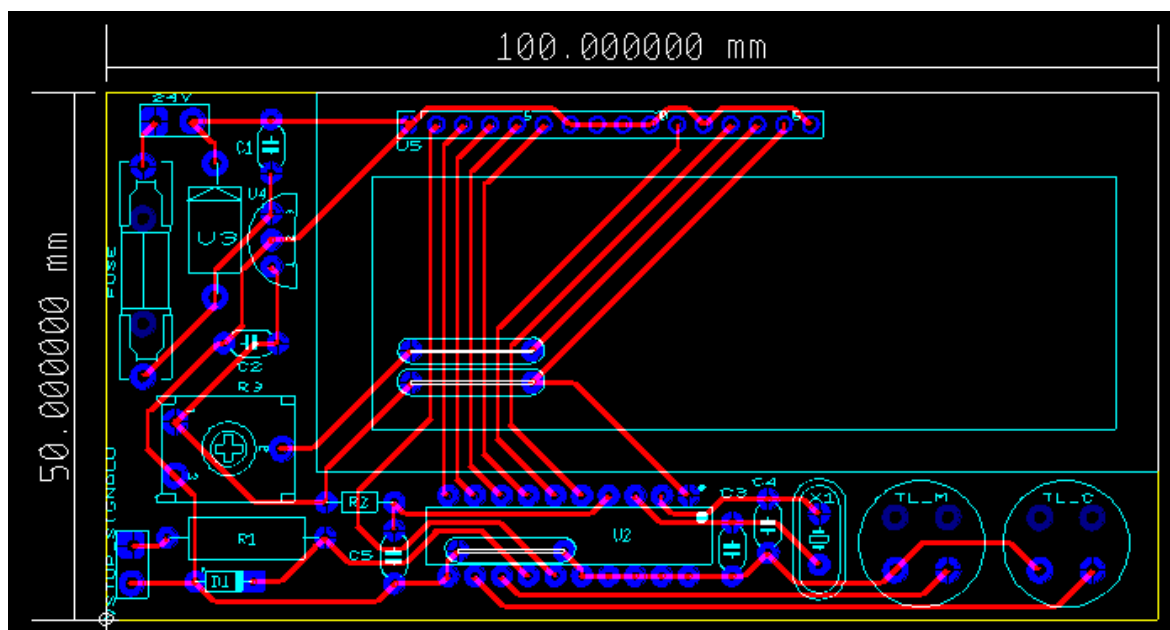
Existuje několik návrhových/simulačních programů pro návrh elektronických obvodů. Pro svou jednoduchost a přehlednost byl zvolen program Multisim. I když program nabízí kombinovanou analogově-digitální simulaci, u tohoto návrhu nebyla použita. Místo toho bylo zapojení odzkoušeno na nepájivém poli. [Obr. 25]



Obr. 25: Schéma zapojení otáčkoměru

5.4 Návrh DPS v programu Ultiboard

Pro návrh DPS také existuje mnoho návrhových programů, ale vzhledem ke kompatibilitě programu Multisim a Ultiboard byl zvolen právě tento program. Návrh proběhl pomocí návrhových pravidel definovaných programem. Nejdůležitějším parametrem byla šířka vodivé cesty a vzdálenost mezi cestami, které byly nastaveny na 0,5mm. Velikost padů byla přizpůsobena jednotlivým součástkám podle dataheetu. Vzhledem k jednoduchosti zapojení a malému počtu použitých součástek postačila pro výrobu DPS jednostranná deska typu FR4 o rozměrech 50x100x1,5mm s měděnou vrstvou tloušťky 35μm a naneseným pozitivním rezistem. [Obr. 26]



Obr. 26: Návrh DPS otáčkoměru

5.5 Návrh programu

Aby mohl otáčkoměr načítat a vyhodnocovat pulzy a zobrazovat na LCD, je potřeba nahrát do mikroprocesoru program, který jej bude řídit. Program byl napsán v programovacím jazyce C v programovém prostředí MicroC, které přímo slouží k programování procesorů PIC. Princip chování programu je následující:

Po připojení napájení program provede inicializaci procesoru, při němž nastaví příslušné piny na vstupní nebo výstupní a nastaví všechny vnitřní potřebné periferie pro načítání pulzů a zobrazování na displeji. Jakmile se na vstupním pinu RC2, na němž je připojen vstup komparátoru, objeví impulz, který je shodný s napětíovou referencí (1,4V až 5V), program začne načítat pulzy. Reference byla nastavena podle datasheetu procesoru pomocí rezistorového pole. Pulzy se dále převádějí na frekvenci podle jejich počtu načtených za určitý čas, z nichž se potom počítá i počet otáček za minutu. Naměřené údaje uloží do paměti a zobrazí na displeji. Jako první se po načtení pulzů zobrazí na displeji počet otáček za minutu, teprve po stisknutí modrého tlačítka se začne zobrazovat frekvence. Po opětovném stisku modrého tlačítka se opět zobrazí počet otáček za minutu. Při stisku černého tlačítka se dá listovat v menu, kde můžeme nastavit typ clony (počet děr), rychlost obnovy zobrazovaných údajů nebo vypnout či zapnout podsvícení displeje. Podrobné chování programu je znázorněno na vývojovém diagramu, který je součástí přílohy.

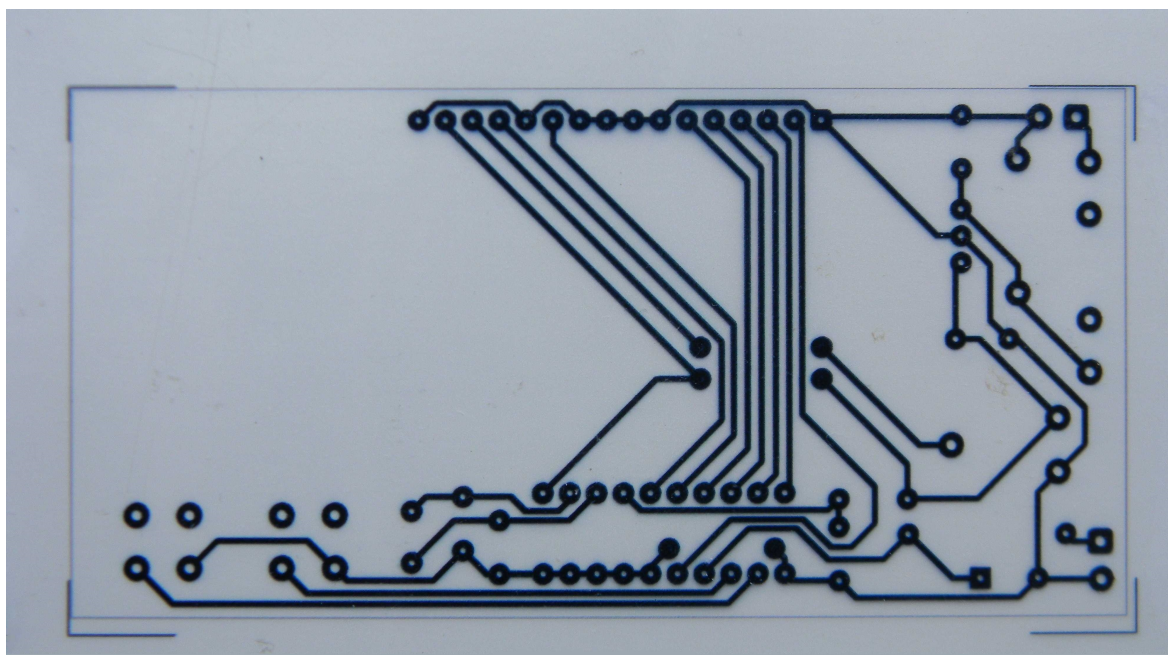
5.6 Výroba DPS

Výrobu DPS realizujeme několika způsoby, které můžeme rozdělit na výrobu pomocí kyselých sloučenin nebo alkalických sloučenin. Kyselosloučeniny, jako např. CuCl_2 nebo FeCl_3 , jsou značně agresivní, zanechávají fleky a způsobují korozi mědi. Naopak alkalické sloučeniny, jako např. $4\text{Cu}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}$, jsou mnohem méně agresivní, nezpůsobují korozi a jsou šetrné k cínovým proklovům. Proto se také využívají při výrobě DPS v průmyslu.

5.6.1 Přenesení motivu na DPS

Přenesení motivu (expozice) s vodivými cestami na DPS se nejčastěji provádí pomocí UV světla. Základem je DPS s naplátovanou mědí a naneseným pozitivním nebo negativním rezistem. Pozitivní rezist vlivem UV záření zpolymeruje a poté se ve vývojce odplaví. U negativního rezistu se zase odplaví části neosvětlené. Podle typu rezistu také volíme typ motivu, který může být pozitivní nebo negativní. Pozitivní motiv má vodivé cesty maskované (světlu neprostupné), kdežto negativní je maskované nemá. Je velice důležité, aby byl natištěný motiv ostrý. [Obr. 28]

U DPS pro výrobu otáčkoměru byla použita deska s naneseným pozitivním rezistem a pozitivní maskou. K osvětlení bylo použito UV záření o výkonu 36W ze vzdálenosti 6cm po dobu 4 min. Doba osvětlení záleží na použitém zařízení, jeho intenzitě a vzdálenosti zdroje záření od DPS.



Obr. 27: Pozitivní motiv vodivých cest

5.6.2 Vyvolání DPS

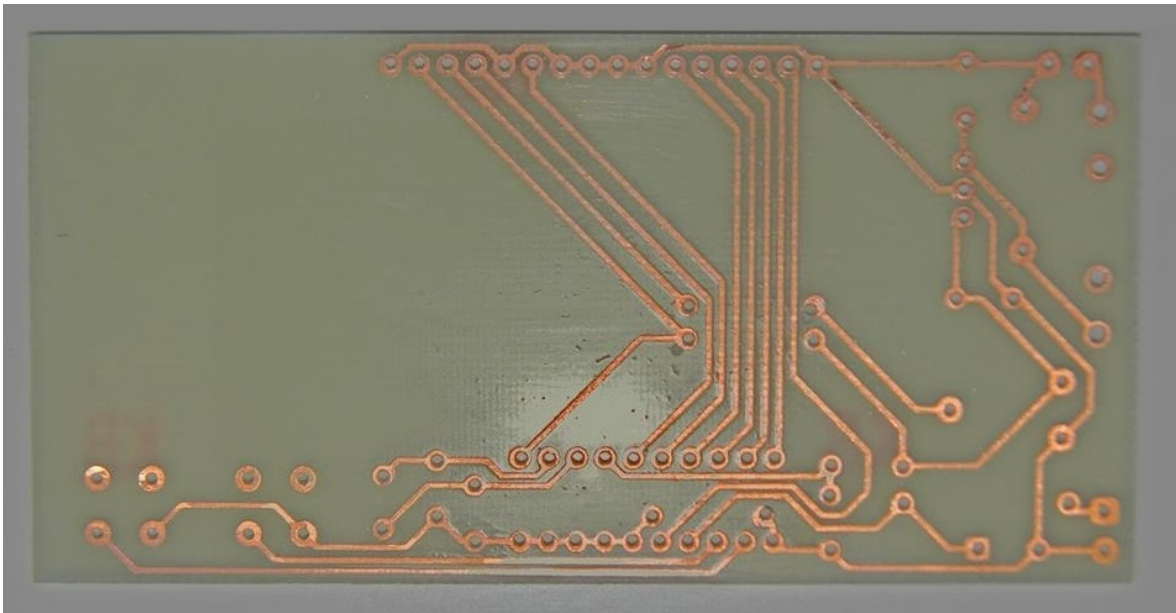
Vyvolání DPS se nejčastěji provádí v 1,5% koncentrovaném roztoku hydroxidu sodného, rozpuštěném ve vodě při pokojové teplotě. Do této lázně se potom deska ponoří a počká se několik minut, než se rezist odplaví. V případě, že je koncentrace slabá, rezist se bude odplavovat pomalu, proces se prodlouží a výsledek nebude kvalitní. Naopak, když bude koncentrace příliš vysoká, rezist se odplaví velice rychle a může dojít i k odplavení nechtěných částí. Pro jednodušší odstranění rezistu během procesu vyvolávání je dobré použít vatovou tyčinku. Po vyvolání se deska omyje pod tekoucí vodou a opatrně osuší. DPS otáčkoměru byla vyvolána za 3 min.

5.6.3 Leptání DPS

Po vyvolání následuje proces leptání, ve kterém dochází k odstranění přebytečné mědi z desky, a to buď kyselou nebo alkalickou metodou. Pro výrobu DPS otáčkoměru byla zvolena metoda alkalická, protože je více šetrná k DPS. Leptání probíhá na rozhraní alkalického roztoku a vzduchu, proto je potřeba zajistit takovou změnu prostředí – například pomocí vzduchového čerpadla, které v roztoku vytváří bublinky. Proces leptání při pokojové teplotě trvá kolem 15 minut, přičemž velice záleží na rovnoměrném rozložení bublinek v roztoku a jeho teplotě. Čím vyšší teplota a rovnoměrnější rozložení bublinek na povrchu desky tím rychlejší proces leptání. DPS otáčkoměru byla leptána při 60 °C přibližně 4 minuty. Po vyleptání se deska opět umyje pod tekoucí vodou a opatrně osuší.

5.6.4 Závěrečná úprava DPS

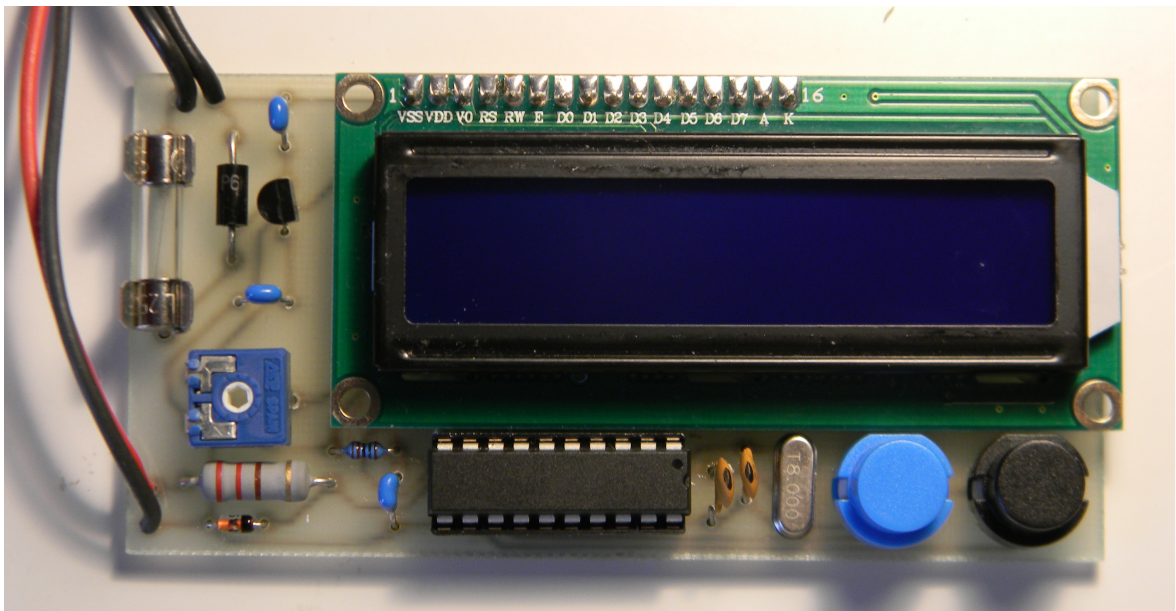
Závěrečná úprava desky záleží na tom, co plánujeme s deskou dále dělat. V případě, že budeme desku ihned používat, očistíme desku acetonem nebolihelem, abychom odstranili zbytky rezistu, který chránil vodivé spoje před vyleptáním, a dále upravíme. Vytvořené spoje a plošky je vhodné upravit pocínováním, nanesením vrstvičky chemické mědi nebo stříbra, natřít pájitelným lakem nebo lze nanést nepájivou masku. V případě, že deska nebude ihned používána, je vhodné ji potříit ochranným lakem proti oxidaci mědi, případně desku nečistit, aby zůstal zachovaný rezist na měděných spojích. DPS otáčkoměru byla po vyleptání natřena pájitelným lakem, na který je možno dále pájet. [Obr. 28]



Obr. 28: Upravená DPS

5.6.5 Osazení DPS

Osazení DPS bylo provedeno ručně pomocí pistolové pájky za použití olovnatého cínu Sn63Pb37. Byly osazeny součástky, signálový a napájecí kabel. Poté byla deska očištěna etanolem, aby se odstranili zbytky spáleného pájitelného laku a deska byla ze strany vodivých spojů znovu natřena pájitelným lakem pro ochranu pocínovaných spojů a DPS.



Obr. 29: Osazená DPS

Parametry výrobku:

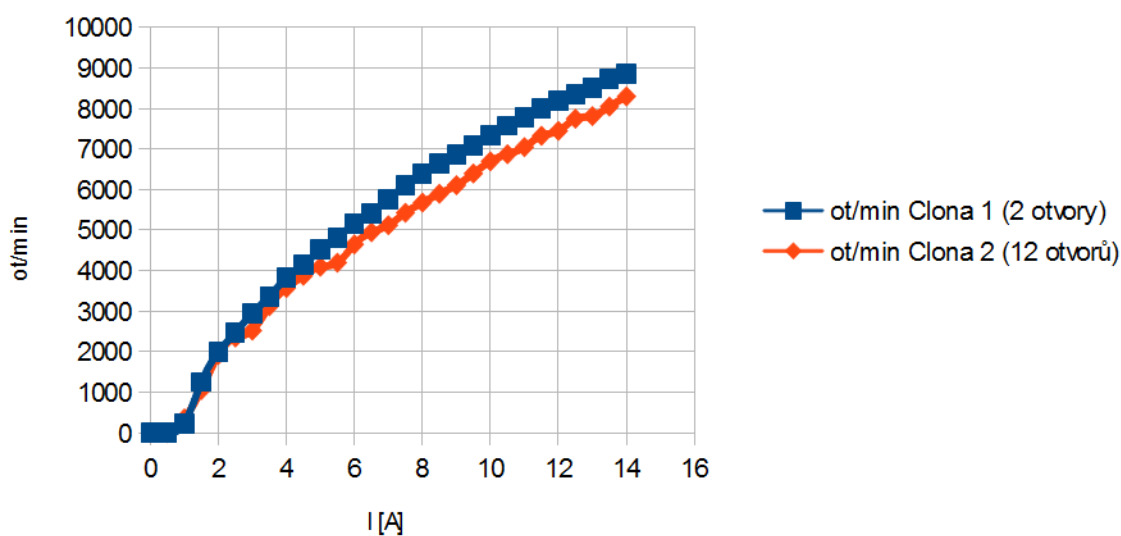
- Napájecí napětí: 7-35V
- Signálový vstup: 0-5V (Max. 24)
- Maximální spotřeba: 40mA
- Rozsah měření: 0-99 999 ot/min

6 MĚŘENÍ OTÁČEK JINÝMI METODAMI

Všechna měření byla provedena s použitím clony 2 se 12 otvory a motorem zapojeným v sérii s 200W rezistorem 1,3 Ω .

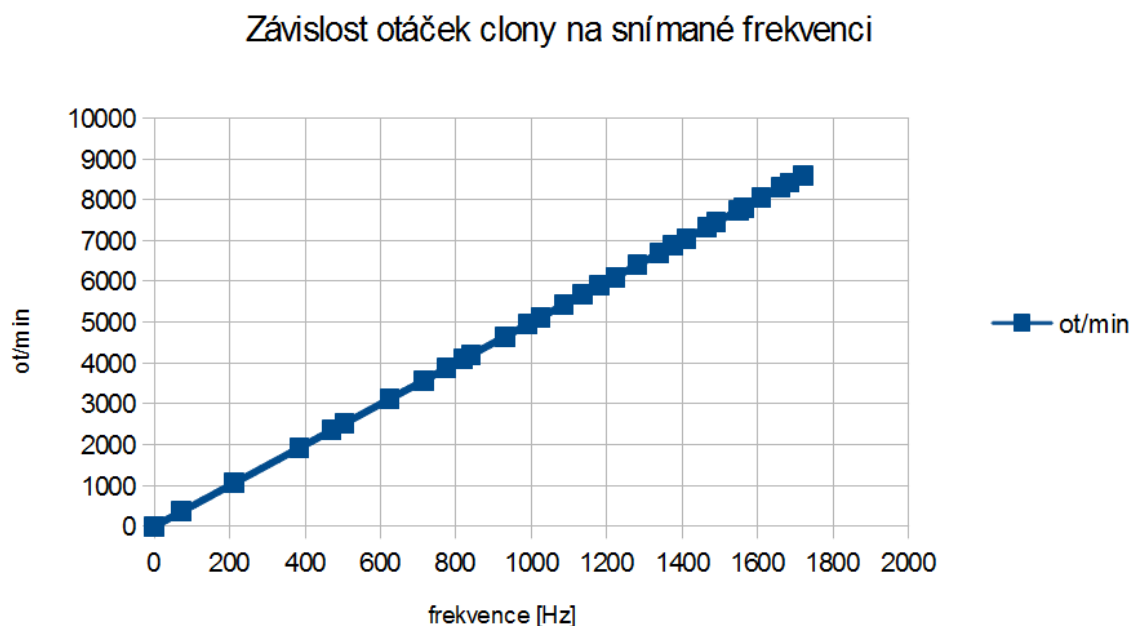
6.1 Naměřené hodnoty ot/min v závislosti na odebíraném proudu v A

Závislost otáček mechanických clon na odebíraném proudu



Obr. 30: Závislost otáček mechanických clon na odebíraném proudu [8]

6.2 Naměřené hodnoty ot/min v závislosti na naměřené frekvenci



Obr. 31: Závislost otáček clony 2 (12 otvorů) na snímané frekvenci

Pro přepočet frekvence na otáčky za minutu byl použit vzorec:

$$n = \frac{f}{12} \times 60 \quad [\text{ot/min}] \quad (6)$$

n.....počet otáček

f.....frekvence

12.....počet otvorů ve cloně

60.....převod sekund na minuty

6.3 Porovnání naměřených hodnot

Z naměřené charakteristiky vyplývá, že závislost otáček jednotlivých clon na odebíraném proudu je nelineární. Otáčky clony 1 se dvěma otvory byly rychlejší v řádů stovek ot/min z důvodu lepší vyváženosti clony. Pokud není clona dobře vyvážena, způsobuje při otáčení vibrace a klade větší odpor.

Závislost otáček clony na frekvenci je lineární, protože danému počtu otáček přímo odpovídá úměrný počet pulzů.

7 ZÁVĚR

V této práci byl popsán princip solárního článku, fotoluminiscence a defekty solárních článků.

Hlavním úkolem této práce bylo vytvořit zařízení pro měření otáček mechanické clony, která slouží ke spínání budícího UV záření a zároveň propouští vybuzeé luminiscenční záření do CCD kamery. Tato clona svými otvory generuje pulzy, které jsou snímány optickým snímačem složeným z IR fotodiody a fototranzistoru. S rostoucím počtem otáček roste lineárně i počet pulzů. Jako způsob načítání těchto pulzů byl zvolen mikroprocesor s možností zobrazit naměřené údaje na LCD. V programu Multisim bylo navrženo schéma a odzkoušeno na nepájivém poli. Dále byla v programu Ultiboard navržena DPS a vyrobena alkalickou metodou. V programovacím jazyce C ve vývojovém prostředí MicroC byl napsán program pro řízení procesoru. Hotová DPS byla osazena součástkami, ale kompletní výrobek už nestihl být odzkoušen. Byly provedeny ještě další dvě metody měření otáček clony v závislosti na odebíraném proudu a frekvenci a jejich hodnoty byly navzájem porovnány.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ekobydlení. In: *Solární článek* [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/obrazky/kremikovy-solarni-clanek.jpg>
- [2] Czrea. In: *Solární panel* [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: http://www.czrea.org/files/images/OZE/FV_obr1_5.jpg
- [3] Křemík. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/33/Polykristalines_Silizi um.jpg/255px-Polykris. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-12-10]
- [4] Czrea. In: *Monokrystalický křemíkový článek* [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: http://www.czrea.org/files/images/OZE/FV_obr1_3.jpg
- [5] Czrea. In: *Polykrystalický křemíkový článek* [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: http://www.czrea.org/files/images/OZE/FV_obr1_3.jpg
- [6] Automatizace.hw. In: *Amorfni solární článek na fólii* [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/nove-technologie-pro-levne-i-vykonne-solarni-clanky>
- [7] Automatizace.hw. In: *Struktura solárního článku* [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/images/solarni_clanky/struktura_clanku.jpg
- [8] BAURA, Tomáš. *ANALÝZA FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ POMOCÍ FOTOLUMINISCENCE* [online]. Brno, 2012 [cit. 2012-11-01]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=54575. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D
- [9] Solární článek. SHARP. *Sharp* [online]. Praha, 05.06.2012 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: <http://www.sharp.cz/cps/rde/xchg/cz/hs.xsl/-/html/sharp-vyvinul-konzentratorovy-solarni-clanek-s-nejvyssi-ucinnosti-konverze-na-sv.htm>
- [10] Solární panel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 18. 11. 2012. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Solární_panel
- [11] Fotovoltaický článek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 20. 11. 2012. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaický_článek
- [12] Křemík. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 12. 11. 2012. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Křemík>

- [13] TRIBASE electric: Fotovoltaické elektrárny. In: *Tribaseelectric* [online]. © 2009 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://www.tribaseelectric.cz/fotovoltaicke-elektrarny>
- [14] Czech RE Agency: Fotovoltaika pro každého. In: *Czrea* [online]. 2003 - 2009 © [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>
- [15] VOJÁČEK, Antonín. Automatizace.hw.cz: Nové technologie pro levné i výkonné solární články. In: *Automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/nove-technologie-pro-levne-i-vykonne-solarni-clanky>
- [16] TRAXLE: Solární koncentrátoři. In: *TRAXLE* [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://www.solar-trackers.com/cz/hrebenove-koncentratory.asp>
- [17] IT serve: Základy fotovoltaiky. In: *Itserve* [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://www.itserve.cz/index.php/fotovoltaicke-elektrarny/fotovoltaika>
- [18] Thermophotovoltaic. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 8 October 2012 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermophotovoltaic>
- [19] Projekt150: Fotovoltaika v dopravě (ČÁST 1). In: *Projekt150* [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/136>
- [20] PATROVSKÝ, Věnceslav. Kpufo: Luminiscenční analýza. *Kpufo* [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: http://www.kpufo.cz/oblasti/oso/patrov/c_lum.htm
- [21] Luminescence. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 19 November 2012 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Luminescence>
- [22] ŠVESTKOVÁ, T. Studium degradačních vlivů na vlastnosti fotovoltaických článků. [online] Brno 2011, [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=36525. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 54 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Oldřich Zmeškal, Csc
- [23] VANĚK, Jiří. Asb-portal: Diagnostické metody fotovoltaických článků. In: *Asb-portal* [online]. 16.08.2010 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/fotovoltaika/diagnosticke-metody-fotovoltaickych-clanku-2100.html>
- [24] FMS - The Fluorescent Mineral Society: Luminescence and Fluorescence. In: *Uvminerals* [online]. © 2012 [cit. 2012-12-06]. Dostupné z: <http://uvminerals.org/fms/luminescence>

- [25] Fyzikální podstata fotovoltaičké přeměny solární energie. *Odbornecasopisy: Světlo* [online]. 2005, s. 5 [cit. 2012-12-06]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/sv010532.pdf>
- [26] Optical Properties of Silicon. In: *Optical Properties of Silicon | PVEducation* [online]. [cit. 2012-12-06]. Dostupné z: <http://pveducation.org/pvcdrom/appendicies/optical-properties-of-silicon>
- [27] Jdm-shop. In: *Analogový otáčkoměr* [online]. [cit. 2012-5-5]. Dostupné z: http://www.jdm-shop.cz/upl/images-maxi_11967.jpg
- [28] Aeronics. In: *Digitální otáčkoměr* [online]. [cit. 2012-5-5]. Dostupné z: <http://www.aeronics.cz/image/cache/data/product/main/64-382-500x500.jpg>
- [29] Palba. In: *Magnetic otáčkoměr* [online]. [cit. 2012-5-5]. Dostupné z: <http://www.palba.cz/forumfoto/albums/userpics/12062/pristoje4.jpg>
- [30] Snimace.xf. In: *Tachodynamo* [online]. [cit. 2012-5-5]. Dostupné z: <http://www.snimace.xf.cz/img/image045.gif>
- [31] Snimace.xf. In: *Tachoalternátor* [online]. [cit. 2012-5-5]. Dostupné z: <http://www.snimace.xf.cz/img/image046.gif>
- [32] Fyzika.gbn. In: *Hallův jev* [online]. [cit. 2012-5-5]. Dostupné z: http://fyzika.gbn.cz/phprs/image/fyzika/elmag/hall_jev_m.jpg
- [33] ZATLOUKAL, Jiří. *BEZKONTAKTNÍ OTÁČKOMĚR PRO TOČIVÉ STROJE* [online]. Brno, 2011 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2011/BP%20Zatloukal.pdf>. Bakalářská. VUT. Vedoucí práce ING. DANIEL ZUTH, PH.D.
- [34] Ges. In: *Laserový otáčkoměr* [online]. [cit. 2012-5-5]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/images/pictures/r/rpm10.jpg>
- [35] Asimo.pl. In: *Enkodér* [online]. [cit. 2012-5-5]. Dostupné z: http://www.asimo.pl/image/teoria/enkodery_1.jpg
- [36] BABČANÍK, Jan. HW. *Spínané zdroje* [online]. 2007 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/spinane-zdroje.html>
- [37] MICROCHIP. *PIC16F631/677/685/687/689/690 Data Sheet*. Microchip Technology Inc., 2006. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41262c.pdf>
- [38] Ucsimply. *Ovládání LCD displeje* [online]. [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://www.ucsimply.cz/elnx/hw-pripravek/lcd-displej/popis/>

- [39] Svetelektro. *Alkalické leptanie DPS* [online]. 2012 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://svetelektro.com/clanky/alkalicke-leptanie-dps-532.html>
- [40] JURÁNEK, Antonín. BEN. *Multisim*. 1. vyd. Praha: BEN, 2008. ISBN 978-80-7300-194-0.
- [41] MANN, Burkhard. BEN. *C pro mikrokontroléry*. 1. vyd. Praha: BEN, 2003. ISBN 80-7300-077-6.
- [42] NATIONAL INSTRUMENTS. *Ultiboard*. National Instruments Corporation, 2006. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371586b.pdf>
- [43] Čítač. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013, 12. 3. 2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Čítač>

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Solární článek, rozměr 104x104 mm
- Obr. 2: Solární panel, rozměry 1580x808x35 mm
- Obr. 3: Křemík
- Obr. 4: Monokrystalický křemíkový článek
- Obr. 5: Polyrystalický křemíkový článek
- Obr. 6: Amorfni křemíkový článek
- Obr. 7: Amorfni křemíkový článek na fólii
- Obr. 8: Struktura solárního článku
- Obr. 9: Princip spontánní emise.
- Obr. 10: Virový defekt.
- Obr. 11: Defekt způsobený pnutím materiálu.
- Obr. 12: Mechanické poškození.
- Obr. 13: Nehomogenita difúzní vrstvy.
- Obr. 14: Analogový otáčkoměr
- Obr. 15: Digitální otáčkoměr
- Obr. 16: Princip magnetického otáčkoměru
- Obr. 17: Tachodynamo
- Obr. 18: Tachoalternátor
- Obr. 19: Indukční magnetický otáčkoměr
- Obr. 20: Hallův jev
- Obr. 21: Využití Hallova snímače
- Obr. 22: Laserový otáčkoměr
- Obr. 23: Enkodér
- Obr. 24: Princip získání signálu pomocí LED a fototranzistoru
- Obr. 25: Schéma zapojení otáčkoměru
- Obr. 26: Návrh DPS otáčkoměru
- Obr. 27: Pozitivní motiv vodivých cest
- Obr. 28: Upravená DPS
- Obr. 29: Osazená DPS
- Obr. 30: Závislost otáček mechanických clon na odebíraném proudu
- Obr. 31: Závislost otáček clony 2 (12 otvorů) na snímané frekvenci

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Seznam součástek

SEZNAM ZKRATEK

IR – Infračervené záření

UV – Ultrafialové záření

DC – Stejnosměrný zdroj napětí a proudu

DPS – Deska plošných spojů

LED – Dioda emitující světlo

USB – Komunikační sběrnice

BIN – Binární kód

SEG – Segmentový kód

BCD – Způsob kódování celých čísel s využitím pouze desítkových číslic (0-9)

A/D – Analogově/Digitální převodník

LCD – Displej z tekutých krystalů

CCD – Typ snímače kamery

PC – Počítač

SEZNAM PŘÍLOH

1. Vývojový diagram.pdf

2. Pozitivní motiv.pdf

3. Program v microC.zip